

BEST AVAILABLE COPY

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-231914

(43)Date of publication of application : 27.08.1999

(51)Int.Cl.

G05B 19/18
G05B 19/416
G05D 3/12

(21)Application number : 10-029611

(71)Applicant : TOYODA MACH WORKS LTD

(22)Date of filing : 12.02.1998

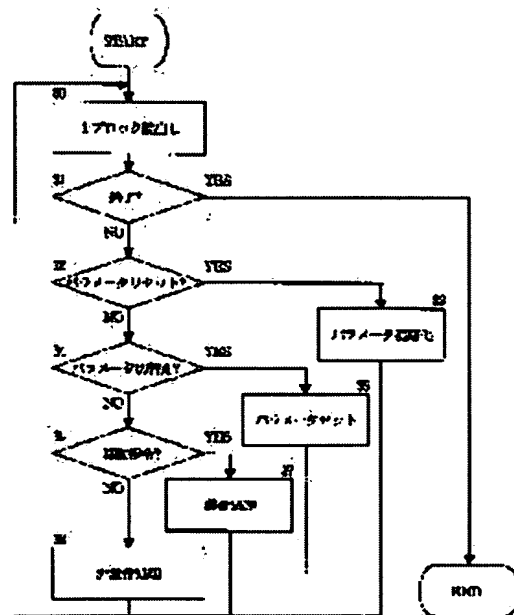
(72)Inventor : HOTTA TAKAYUKI
INAGAKI TATSUYA

(54) NUMERICAL CONTROLLER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To set up a control parameter for an optimum servo system in accordance with a control condition.

SOLUTION: A parameter table for storing the value of a control parameter in each control condition in accordance with the control condition is prepared, and when a command for switching a control parameter is described in an NC program, the control parameter stored in the parameter table is selectively set up based on the control parameter switching command during the execution of the NC program. The initial value of each control parameter is previously stored and the control parameter is returned to the initial value by a parameter reset command during the execution of the NC program.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

BEST AVAILABLE COPY

BEST AVAILABLE COPY

* [Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-231914

(43) 公開日 平成11年(1999) 8月27日

(51) Int. Cl.⁵
 G 0 5 B 19/18
 19/416
 G 0 5 D 3/12 3 0 6

F I
 G 0 5 B 19/18 T
 G 0 5 D 3/12 3 0 6 G
 G 0 5 B 19/407 E

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平10-29611

(22) 出願日 平成10年(1998) 2月12日

(71) 出願人 000003470

豊田工機株式会社

愛知県刈谷市朝日町1丁目1番地

(72) 発明者 堀田 尊之

愛知県刈谷市朝日町1丁目1番地 豊田工機株式会社内

(72) 発明者 稲垣 達也

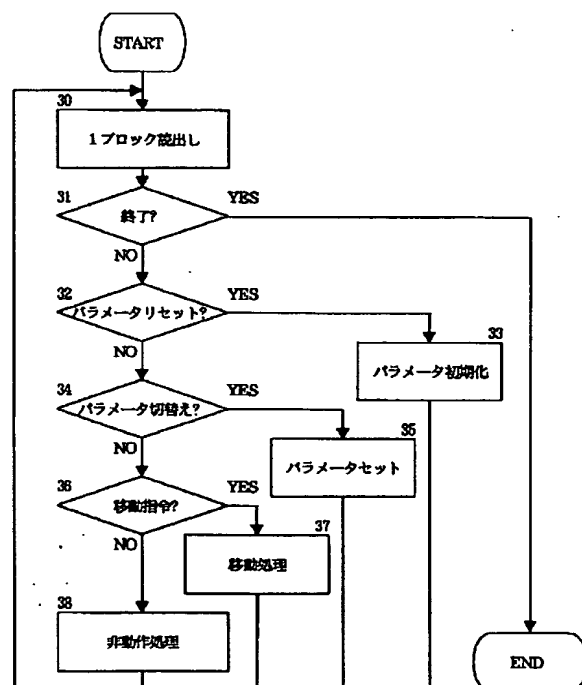
愛知県刈谷市朝日町1丁目1番地 豊田工機株式会社内

(54) 【発明の名称】 数値制御装置

(57) 【要約】

【課題】制御条件に応じて最適なサーボ系の制御パラメータを設定し得るようにする。

【解決手段】制御条件に応じてこの制御条件毎に最適な制御パラメータの値を記憶したパラメータテーブルを設け、NCプログラムに制御パラメータを切換える指令を記述することにより、NCプログラムの実行中に制御パラメータの切換え指令によってパラメータテーブルに記憶された制御パラメータを選択して設定するようにした。また、制御パラメータの初期値を記憶しておき、NCプログラムの実行中にパラメータリセット指令によって制御パラメータを初期値に戻すようにした。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 サーボモータを駆動するサーボ制御手段を数値制御する数値制御装置において、制御条件と前記サーボ制御手段における制御パラメータとの対応を表すパラメータテーブルと、前記サーボ制御手段における前記制御パラメータを切換えるパラメータ切換え指令が記述されたNCプログラムとを記憶する記憶手段と、前記NCプログラムに従って前記サーボ制御手段を制御すると共に、前記パラメータ切換え指令が指令されたとき当該指令によって選択される前記制御パラメータを前記パラメータテーブルから読み出し前記サーボ制御手段に設定する制御手段と、を備えたことを特徴とする数値制御装置。

【請求項2】 請求項1に記載の数値制御装置において、前記記憶装置は前記制御パラメータの初期値を記憶していると共に、前記NCプログラムには前記制御パラメータを初期値に切換えるパラメータリセット指令が記述されており、前記制御手段は前記パラメータリセット指令が指令されたとき前記記憶手段に記憶された前記制御パラメータの初期値を前記サーボ制御手段に設定することを特徴とする数値制御装置。

【請求項3】 請求項1または2に記載の数値制御装置において、前記制御パラメータは位置ループゲイン、速度ループゲイン、速度フィードフォワードゲイン、加速度フィードフォワードゲイン、時定数のうちの一つまたは複数の組み合わせであることを特徴とする数値制御装置。

【請求項4】 請求項1ないし3のいずれかに記載の数値制御装置において、前記サーボモータは工作機械を駆動するサーボモータであり、前記制御条件は加工条件であることを特徴とする数値制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は予め作成されたNCプログラムに従って工作機械等を駆動するサーボモータを制御する数値制御装置に関し、特にサーボ系の制御パラメータ（以下、単にパラメータという）として最適な値を取り得る数値制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来の数値制御装置において、各種パラメータは被駆動体の位置決め精度や移動速度等を左右する重要なファクタであり、機械の製造時や保守作業時に最適な値に設定される。しかし、パラメータの最適値は制御方法に応じて異なるものであり、マシニングセンタを制御する数値制御装置を例に取れば、同じマシンであっても、加工形状や加工速度等の条件によってパラメータの最適値は異なる。このように加工条件によって異なる各種パラメータの最適値を自動的に調整する方法が特開平8-221132に開示されている。この公知の方

法は、円弧プログラム、直線プログラム、コーナープログラム等の調整用の制御プログラムを備え、この調整用制御プログラムに基づいて実際に機械を移動させ、その時のサーボ情報を解析することによって最適なパラメータを求めるようにしたものである。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】上記の公知技術によれば、加工条件に応じた最適なパラメータを自動的に決定することができるが、一般的な数値制御装置においては、各種パラメータの値は1種類、もしくは、早送り用のパラメータと加工送り用のパラメータの2種類しか設定することができない。したがって、このように固定されたパラメータでは加工条件が異なると位置決め誤差や位置決め時間を一定に管理することができない。このため、加工条件が変わる度にパラメータの設定を行わなければならないという問題がある。いわゆる生産形の工作機械では加工条件の変更は稀であるので、加工条件が変更される度に上記の公知技術に開示されるような自動調整方法を用いてパラメータの再設定を行えばよいが、マシニングセンタ等の多種類の加工や汎用的な加工を行う機械の制御を行う数値制御装置においては、一つのNCプログラム内に加工条件の異なる複数の加工指令が含まれており、このNCプログラムの実行中にパラメータの値を変更することはできない。

【0004】

【課題を解決するための手段】本発明は上述した課題を解決して、制御条件に応じた最適なパラメータを選択的に使用することができる数値制御装置を提供しようとするものであり、請求項1に記載の発明は、サーボモータを駆動するサーボ制御手段を数値制御する数値制御装置において、制御条件と前記サーボ制御手段における制御パラメータとの対応を表すパラメータテーブルと、前記サーボ制御手段における前記制御パラメータを切換えるパラメータ切換え指令が記述されたNCプログラムとを記憶する記憶手段と、前記NCプログラムに従って前記サーボ制御手段を制御すると共に、前記パラメータ切換え指令が指令されたとき当該指令によって選択される前記制御パラメータを前記パラメータテーブルから読み出し前記サーボ制御手段に設定する制御手段とを備えたものである。

【0005】そして、請求項1に記載の発明は、制御手段がNCプログラムに従ってサーボ制御手段を制御し、NCプログラムによりパラメータ切換え指令がなされると、指令された制御パラメータを記憶手段のパラメータテーブルから読み出してサーボ制御手段に設定するように作用する。これにより制御条件に応じた制御パラメータでサーボモータが制御される。

【0006】請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、前記記憶装置は前記制御パラメータの初期値を記憶していると共に、前記NCプログラムには

前記制御パラメータを初期値に切換えるパラメータリセット指令が記述されており、前記制御手段は前記パラメータリセット指令が指令されたとき前記記憶手段に記憶された前記制御パラメータの初期値を前記サーボ制御手段に設定するようにしたものである。

【0007】そして、請求項2に記載の発明においては、NCプログラムによりパラメータリセット指令がなされると、制御手段は記憶手段からパラメータ初期値を読み出してサーボ制御手段に設定するように作用する。これにより初期値のパラメータでサーボモータが制御される。請求項3に記載の発明は、さらに、前記制御パラメータは位置ループゲイン、速度ループゲイン、速度フィードフォワードゲイン、加速度フィードフォワードゲイン、時定数のうちの一つまたは複数の組み合わせであることを特徴とするものであり、請求項4に記載の発明は、前記サーボモータは工作機械を駆動するサーボモータであり、前記制御条件は加工条件であることを特徴とするものである。

【0008】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。図1は本発明に係わる数値制御装置の構成を示す図であり、数値制御装置1は主として演算装置であるCPU2と、記憶装置であるROM3およびRAM4と、インターフェイス5を介してCPU2に接続されたキーボード等の入力装置6およびCRT等の出力装置7からなる。ROM3にはシステムプログラムが記憶されており、RAM4にはNCプログラムを記憶するNCプログラムエリアの他に、後述するパラメータの初期値を記憶するエリアと、同じく後述する各種制御条件とパラメータとの対応を示すパラメータテーブルを記憶するエリアが設けられている。

【0009】また、CPU2にはデジタルサーボ制御装置10が接続されており、このデジタルサーボ制御装置10は主としてデジタルシグナルプロセッサ11（以下、DSPという）、共通RAM12、A/D変換器13a、13b、および現在位置カウンタ14、ROM15、インバータ16、カレントトランスフォーマ17a、17b（以下、CTという）、増幅器18a、18b、波形整形・方向判別回路19から構成されている。なお、このデジタルサーボ制御装置10は図1では1つのみを示しているが、例えば、マシニングセンタの制御を行う場合、X、Y、Z各軸のサーボモータの駆動を制御すべく3つのデジタルサーボ制御装置10が数値制御装置1に接続される。

【0010】図2はDSP11によるサーボ制御機能を示したブロック図であり、DSP11の出力はインバータ16に入力され、インバータ16はDSP11の出力信号に応じてサーボモータMを駆動する。サーボモータMには同期モータが用いられ、インバータ16のPWM電圧制御によりサーボモータMの負荷電流が制御され、

その結果、出力トルクが制御される。

【0011】サーボモータMのu相およびv相の負荷電流がCT17a、17bにより検出され、増幅器18a、18bにより増幅される。その増幅器18a、18bの出力は、A/D変換器13a、13bに入力され、所定の周期でデジタル値に変換される。そのサンプリングされた値は、瞬時負荷電流のフィードバック値としてDSP11に入力される。

【0012】また、サーボモータMにはパルスエンコーダPが接続され、パルスエンコーダPの出力は波形整形・方向判別回路19を介して現在位置カウンタ14に入力される。波形整形・方向判別回路19を介して現在位置カウンタ14に入力されたパルスエンコーダからの出力信号は現在位置カウンタ14の値を加減させる。現在位置カウンタ14の値は、位置フィードバック値、すなわち、現時刻(i)におけるサーボモータの軸の現在位置 $\theta_a(i)$ （回転角）を表している。CPU2から現在時刻(i)において指令された目標位置 $\theta(i)$ と現在位置 $\theta_a(i)$ とが、DSP11により比較され、位置偏差 $\Delta\theta(i)$ が算出される。そして、DSP11によりその位置偏差に位置ループゲイン K_p が掛けられて、一次目標速度 $V_p(i)$ が算出される。

【0013】一方、指令された目標位置 $\theta(i)$ は、フィードフォワードループの微分器により微分され、その値に速度フィードフォワードゲイン K_f が掛けられて、現在時刻における速度フィードフォワード値 $V_f(i)$ が演算される。また、指令された目標位置 $\theta(i)$ は、フィードフォワードループの微分器により2回微分され、その値に加速度フィードフォワードゲイン K_a が掛けられて、現在時刻における加速度フィードフォワード値 $V_a(i)$ が演算される。また、速度フィードバックループにおいては、DSP11に入力された現在位置が速度フィードバックループの微分器で微分され、微分ゲイン K_d が掛けられて速度フィードバック値 $V_b(i)$ が算出される。

【0014】そして、一次目標速度 $V_p(i)$ に速度フィードフォワード値 $V_f(i)$ および加速度フィードフォワード値 $V_a(i)$ が加算され、速度フィードバック値 $V_b(i)$ が減算されて、速度偏差 $\Delta V(i)$ が算出される。DSP11によりこの速度偏差に速度ループゲイン K_v が掛けられて、電流フィードバックループにおける目標電流値のq軸成分（有効電流）が算出される。目標電流値のd軸成分（無効電流）は0とされる。

【0015】CT17a、17bにて検出され、増幅器18a、18bおよびA/D変換器13a、13bを介してDSP11に入力される電流のフィードバック値はdq変換され、この電流のフィードバック値、すなわち、現在電流のq軸成分およびd軸成分は、目標電流のd軸成分およびq軸成分と比較され、それぞれの成分の電流偏差が演算されて指令電流となる。

【0016】指令電流のq軸成分およびd軸成分は、各

加速
前値
増分

相の指令電流にd q逆変換される。その各相の指令電流は高周波の三角波と比較され、インバータ16の各相のトランジスタのオンオフを制御する電圧制御PWM信号が生成される。その電圧制御PWM信号はインバータ16に出力され、そのインバータ16の各相のトランジスタがそれぞれ駆動される。このインバータ16のスイッチングにより負荷電流は目標電流に制御されることになる。なお、サーボモータMの位置決めは、CPU2により現在位置カウンタ14の出力値が目標位置に等しくなったと判断された時に完了する。

【0017】次に、図3から図5に基づき、本実施の形態の作用について、工作機械による加工動作を制御する場合を例に取って説明する。まず、実際の加工動作に先立って、初期設定として入力装置6からパラメータの初期値およびパラメータテーブルを数値制御装置1のRAM4の所定の記憶エリアに記憶させておく。

【0018】ここで、パラメータの初期値は、上記した位置ループゲイン K_p 、速度ループゲイン K_v 、速度フィードバックゲイン K_d 、速度フィードフォワードゲイン K_f 、加速度フィードフォワードゲイン K_a の各ゲインの値や時定数 T （速度0から最高速度に達するまでに要する時間）等であり、従来の数値制御装置において設定されているように、すなわち、実験的に適切な値を求めて、あるいは、従来の技術の欄で説明した特開平8-221132に記載された方法を用いて求める等して、RAM4のパラメータ初期値エリアに記憶させておく。つまり、従来の数値制御装置に設定されている値と同じ値でよい。なお、このパラメータ初期値は、数値制御装置1の電源投入処理時に自動的にDSP11に設定されるようにしておくのがよい。

【0019】一方、パラメータテーブルは加工条件に応じた上記の各ゲイン値や時定数 T の最適値を記憶したものである。すなわち、パラメータ初期値は各種の加工条件による移動制御を満足させるための、いわゆる汎用的な値であるのに対して、このパラメータテーブルに記憶される値は、特定の加工条件による移動制御のみを最適に行い得るようなパラメータ値の組み合わせである。

【0020】一般的に言えば、フィードバックゲインの値を高くすれば、応答速度が速くなり位置決め精度も向上するが、逆に高すぎるとハンチングを起こすことになり、フィードフォワードゲインを高くすると応答速度が速くなり軌跡精度も向上するが、逆に高すぎると振動を発生することになる。また、時定数が小さい方が加減速時間が短くなるので移動時間が短くなるが、逆に小さすぎると振動の発生やサーボ系の異常を引き起こすことになる。さらに、ゲインの値が高すぎたり時定数が小さすぎたりするとオーバーシュートが発生することがあるが、特に工作機械の制御においては、オーバーシュートは絶対にさけなければならない。このような点を考慮して、加工条件に応じた最適なパラメータの値を求めてパ

ラメータテーブルを作成する。

【0021】図3は円弧補間の送り速度 F と半径 R による加工条件の違いに対応するためのパラメータテーブルの例を示しており、固定されたパラメータ（例えば、パラメータ初期値）で円弧補間を行うと、送り速度 F の大小および半径 R の大小によって、位置決め精度および位置決め時間が異なることになるので、送り速度 F および半径 R に応じて位置ループゲイン G_p 、速度フィードフォワードゲイン K_f および時定数 T を変更するよう

10 に、送り速度 F および半径 R に対する最適位置ループゲイン G_p 、速度フィードフォワードゲイン K_f および時定数 T の組み合わせが $No.$ と対応付けられている。

【0022】このパラメータテーブルに記憶される各ゲインや時定数の値は、上記したパラメータ初期値と同様にして求めることができる。また、多くの加工条件に対応するために、特定の間隔の値を求めてこれらの値から他の値を導くようにしてもよい。すなわち、送り速度 F が20000mm/minにおける最適 K_p 、 K_f 、 T の値と送り速度 F が10000mm/minにおける最適 K_p 、 K_f 、 T の値とを半径 R に応じて実験的に求め、これらの中間の値を送り速度15000mm/minにおける K_p 、 K_f 、 T の値とすることもできる。このようにすれば、パラメータテーブルの作成時間が短縮される。

【0023】このようにして、RAM4にパラメータ初期値およびパラメータテーブルが記憶された状態で、同じくRAM4に記憶されたNCプログラムに基づいて実際の制御が行われる。この制御方法を図4のフローチャートおよび図5のNCプログラムに基づいて説明する。CPU2は、ステップ30でNCプログラムの1ブロックを読み出し、ステップ31で終了命令であるかを判断する。終了命令である場合は処理を終了し、終了命令でない場合はステップ32に進む。ステップ32ではパラメータのリセットを指示する命令であるかを判断し、パラメータのリセット命令であれば、ステップ33に進んでパラメータの初期化を行い、パラメータのリセット命令でない場合はステップ34に進む。ステップ34ではパラメータの切換えを指示する命令であるかを判断し、パラメータ切換え命令であれば、ステップ35に進んでパラメータのセットを行い、パラメータの切換え命令でない場合はステップ36に進む。ステップ36では移動指令であるかを判断し、移動指令であればステップ37に進んで移動処理を行い、移動指令でない場合はステップ38に進んで非動作処理を行う。ステップ33、35、37、38の各処理の後には再びステップ31に戻って上記の処理を繰り返す。なお、ステップ37における動作処理およびステップ38における非動作処理は、従来の数値制御装置における処理と同じであるので、詳細な説明は省略する。

【0024】図5のNCプログラムの例では、まず、N001のM07、M08（クーラントオン）は非動作処

理であるのでステップ38に進んでクーラントオンの処理が行われる。次のブロックN002のG00（早送り）は移動指令であるので、ステップ37に進んで早送り動作が行われる。この早送り処理は、電源投入時にパラメータが初期値に設定されているので、RAM4に記憶されたパラメータ初期値で制御される。そして、N003にてパラメータ切換え命令であるGxxが指令されているので、ステップ35に進んでパラメータセットの処理が行われる。このパラメータセットの処理において、Gxxの後に続くN1はパラメータテーブルのNo. に対応するものである。N1で指定されたKp、Kf、Tの値をパラメータテーブルから読出してDPS11に設定する。次のブロックN004のG01（切削送り）は移動処理であるのでステップ37に進んで切削送りが行われるのであるが、先のブロックで設定されたパラメータで移動処理が行われる。つまり、このN004の移動処理に最適なパラメータをN003にて設定しておく訳である。このN003におけるパラメータの設定により、最適な制御条件でN004の移動処理が行われる。同様にして、N005で設定されたパラメータでN006の円弧補間（G17G03）処理が行われる。

【0025】N007のGyyはパラメータリセット命令であり、ステップ33に進んでパラメータの初期化が行われる。パラメータ初期化処理はGxxで設定されたパラメータをRAM4のパラメータ初期値エリアに記憶された初期値に戻す処理であり、この処理により、N008、N009の移動処理はパラメータ初期値で制御される。すなわち、パラメータテーブルに記憶されたパラメータを用いる必要がない移動命令の場合には、その移動命令の前にパラメータリセット命令Gyyを挿入しておけばよいのである。最後に、N050のM30は終了命令であるので、ステップ31の判断がYESとなってプログラムが終了される。

【0026】上述したように、NCプログラムの移動指令の前に、パラメータをパラメータテーブルに記憶されたその移動制御に最適なパラメータ値に切換える命令を挿入することにより、移動指令、すなわち加工条件に応じた最適なパラメータで移動を制御することができる。

【0027】ここで、上述の実施の形態においては、パラメータ切換え指令としてGコード（Gxx）を用いたが、第2の実施の形態として以下のように構成することも可能である。すなわち、第2の実施の形態は、上述の実施の形態における専用のGコードを用いることなく、加工指令を行うGコードによってパラメータを切換えるものである。具体的には、例えば、NCプログラムから円弧補間指令（G17G03X〇〇 Y〇〇 R50 F5000）が指令されたとき、このGコードに続く半径Rおよび送り速度Fを読み込み、この値（R=50、F=5000）に基づいてパラメータテーブル（図3の

No. 05）に記憶された位置ループゲインKp、速度フィードフォワードゲインKf、時定数Tを読出してDPS11に設定するようなマクロプログラムを作成しておくのである。なお、円弧補間指令に記述される半径および送り速度の値に一致するパラメータが、必ずしもパラメータテーブルに存在するとは限らないが、その場合はパラメータテーブルの最も近い値を選択する〔例えば、円弧補間指令としてF=5000、R=42が指令されたときは、図3のパラメータテーブルの中で最も近い値であるNo. 04（F=5000、R=40）のパラメータを選択する〕ようにしたり、その値の前後の値から補間して求める〔例えば、円弧補間指令としてF=5000、R=45が指令されたときは、図3のパラメータテーブルのNo. 04（F=5000、R=40）のパラメータの値とNo. 05（F=5000、R=50）のパラメータの値との中間の値とする〕ようにすればよい。

【0028】第2の実施の形態によれば、NCプログラムに専用のパラメータ切換え指令を記述する必要がないので、NCプログラムの作成は従来通り行いさえすればよく、NCプログラム作成の際の負担が増大することがない。第2の実施の形態においては、NCプログラムに記述された制御指令そのものが請求項1に記載のパラメータ切換え指令に相当するものである。

【0029】また、上述の実施の形態においては、パラメータテーブルとして、円弧補間時の送り速度Fと半径Rに対する位置ループゲインKp、速度フィードフォワードゲインKf、時定数Tの値を例にとって説明したが、動作指令としては、円弧補間に限られるものではなく早送りや直線補間でもよいし、条件としては、送り速度および半径に限定されるものではない。例えば、フライス、ドリル、タップ等の加工の種類に応じたパラメータテーブルを用意することもできるし、同じフライス加工であっても被加工物の材質や切り込み深さに応じて、あるいは同じドリル加工であっても工具径の大きさに応じてパラメータを切換えるようにしてもよい。さらに、加工精度は劣るものの速度を優先するようなパラメータの組み合わせと速度は落ちるものの加工精度を優先するようなパラメータの組み合わせを設け、これらを切換えるようにすることもできる。

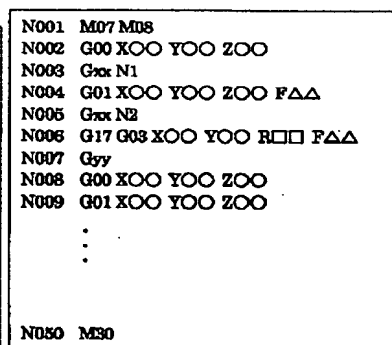
【0030】パラメータも位置ループゲインKp、速度フィードフォワードゲインKf、時定数Tに限られるものではなく、速度ループゲインKv、速度フィードバックゲインKd、加速度フィードフォワードゲインKaを切換えるようにしてもよいし、これらのうちの一つあるいは複数を選択的に切り換えてもよい。例えば、フィードフォワードループを有しないサーボ系であればフィードバックゲインのみを切換えればよいし、位置ループゲインを変えることが最も効果的であると考えられる場合は位置ループゲインのみを切換えるようにしてもよい。さ

【0033】また、NCプログラムからのパラメータリ

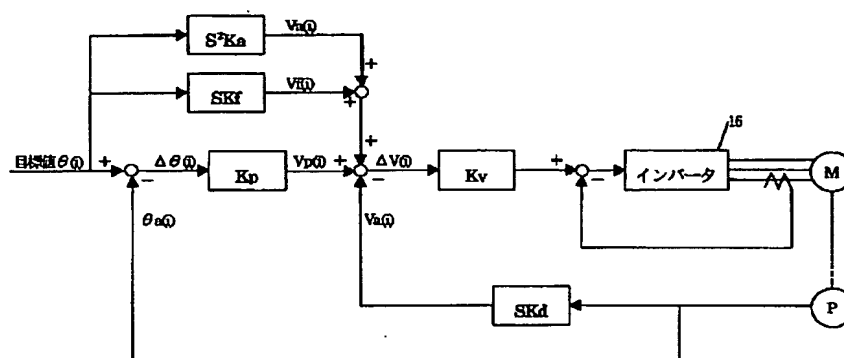
10

P パルスエンコーダ

【图5】



【図2】



【図3】

Figure 1 illustrates the structure of the algorithm for determining the optimal control. It shows four overlapping tables representing different values of F (20000, 15000, 10000, 6000). Each table has columns for N_a , R , K_p , K_f , and T . The tables are nested, with $F=20000$ being the largest and $F=6000$ being the smallest. The tables show the progression of the algorithm as F decreases, with the number of rows (N_a) increasing from 1 to 5 as F decreases from 20000 to 6000.

【図4】

